



Centre de Coopération Internationale
en Recherche Agronomique pour le développement

U.P.R. Systèmes de Cultures Annuelles
Pole REAGIR CIRAD-Réunion

Profondeur du système racinaire de la canne à sucre à la Réunion. (var. 570, repousse)

J.L. Chopart¹, L. Le Mézo¹, J.L. Brossier¹, C.L. Hoareau²

Octobre 2008

¹ CIRAD, UPR SCA F-97410 St Pierre Réunion

² Etudiant-stagiaire du LEGTA, route de Mafate St Paul Réunion

Correspondance :

Jean Louis Chopart 7, chemin de l'IRAT, 97410, St Pierre, La Réunion.
chopart@cirad, tel : 02 62 49 92 62

Profondeur du système racinaire de la canne à sucre à la Réunion. (var. 570, repousse)

Chopart J.L., Le Mézo L., Brossier J.L., Hoareau C.L.

Introduction

La connaissance de la profondeur du système racinaire est très importante, car c'est elle qui délimite la profondeur de sol potentiellement utilisable à l'alimentation hydrique et minérale. Elle est particulièrement utile dans la modélisation et pour le raisonnement de la fertilisation et de l'irrigation.

Pour la canne à sucre, cette donnée est encore très peu connue, malgré l'importance économique de cette culture. Des premiers travaux (Evans, 1936, repris par van Dillewijn, 1952) ont pourtant eu lieu il y a plusieurs décennies. D'après Evans, les racines peuvent descendre jusqu'à 6 mètres dans des conditions favorables. Mais ces estimations sont principalement qualitatives et elles ont été partiellement remises en cause plus récemment pour des variétés modernes (Blackburn, 1984). Une revue des résultats récents (Smith et al. 2005), indique que le système racinaire de la canne à sucre a une profondeur encore mal connue et qu'il n'existe pas de travaux publiés relatifs à l'observation de racines de canne à sucre en dessous de 2 mètres de profondeur depuis les années 1930.

A la Réunion, comme ailleurs, les études quantitatives des profils racinaires se sont, pour le moment, limitées à 2 mètres environ et ont été très peu nombreuses. Hussenet (1996, cité par Combres et al. 1999) a trouvé la dernière racine à 1 mètre. Plus récemment, Bardeur (2006), a trouvé des racines jusqu'à 1.8 m, toutefois la profondeur étudiée s'était arrêtée à 1.8m.

Il est en effet très difficile d'étudier les racines en profondeur et de déterminer le front racinaire, où les racines sont le plus souvent très peu nombreuses et dépendantes des conditions physiques du sol à cette profondeur. Le système racinaire de la canne, comme celui des autres cultures, est très dépendant des conditions physiques du sol (Monteith and Banath, 1965; Glover, 1968). Pour étudier le front racinaire, il n'est donc pas possible de se limiter à l'étude d'un volume de sol restreint comme des prélèvements par cylindre.

C'est pourquoi, il a été décidé de déterminer jusqu'à quelle profondeur croissent les dernières racines de canne, dans un sol profond mais avec des contraintes normales. Pour cela, on a étudié les racines sur un large profil de sol, creusé jusqu'à disparition de la dernière racine.

Matériel et méthodes

Dispositif et environnement

Les mesures des systèmes racinaires ont été effectuées sur un dispositif expérimental situé à la Réunion, près de St Pierre (dispositif dit Tirano), qui a déjà fait l'objet de description (Chopart et al. 2007 a, b). Le sol est de type Cambisol, dérivé de roches volcaniques récentes. Il est profond (supérieur à 5 mètres) argileux, sans éléments grossiers, avec une densité

apparente homogène entre 1.1 et 1.2 (Bernard, 2004). La canne à sucre (variété R 570, 5^{ème} repousse), dont la dernière coupe avait eu lieu le 25 octobre 2007, était cultivée avec des irrigations de complément en cas de besoin et avec une fertilisation conforme aux préconisations. Ni le rayonnement solaire au cours du cycle, ni la température (mini 13.5°C, maxi 32.7 °C), ni l'humidité du sol, mesurée à proximité, n'ont été des facteurs limitants de la croissance des parties aériennes et des racines. La contrainte mécanique à la croissance, racinaire dans le sol (estimée qualitativement) était celle d'un sol humide peu compacté en profondeur. Les mesures ont eu lieu en juillet 2008, soit après huit mois de cycle, lorsque la culture avait atteint sa pleine végétation et avant le début du sevrage.

Méthodes de mesures racinaires

La méthode de mesure utilisée est celle de la grille adaptée par Chopart (Chopart, 1989, 1996) de la méthode de la trench-profile (Böhm, 1976). Elle a déjà été décrite en détail par ailleurs (Chopart 1999, 2002, 2004). On ne fera ici que d'en rappeler les grands principes. Sur un profil de sol, on compte les intersections entre les racines et un plan formé par la surface du profil de sol. Ces comptages se font à l'aide d'une grille à mailles de 5x5cm, ce qui permet à la fois de spatialiser les résultats et de connaître la densité d'intersections (nombre de racines par mailles de 5x5 cm). Les mesures ont été effectuées sur 4 profils de sol. Chaque profil avait une largeur de 1.5 m (un interligne) et une profondeur correspondant à la disparition des racines sur plus de 20 cm.

Ces données de base ont été saisies dans un logiciel : RACINE2 (Chopart et al. 2008). Grâce à un modèle d'estimation de la densité de longueur racinaire (LVR) à partir des comptages d'intersections saisis dans RACINE2, le logiciel calcule automatiquement la longueur racinaire par unité de volume de sol (LVR). A partir de ces DLR, il a été possible de calculer les distances moyennes entre racines (EMR) par la formule de Newman (1966). Ce sont ces deux caractéristiques du système racinaire qui ont été retenues pour décrire le profil racinaire et la profondeur du front racinaire.

Lorsque l'on n'a plus vu de racines sur les profils de sol, on a continué à creuser sur une vingtaine de centimètres sur une surface d'environ 1 m². La terre prélevée a été examinée sur place avec attention pour voir la présence ou non de racines.

Résultats

Cartes de longueurs volumiques racinaires (LVR) jusqu'au front racinaire

Les 4 cartes de la figure 1 permettent de visualiser la distribution racinaire dans le profil lorsque celui est perpendiculaire à la ligne de canne, avec un gradient entre ligne et interligne dans les 60 à 80 premiers centimètres, puis, plus en profondeur, une répartition beaucoup plus aléatoire, en fonction apparemment des variations de résistance mécanique à la pénétration racinaire, les racines profitant des zones de moindre résistance, la plupart plus ou moins verticales, correspondant à d'anciennes fissures. Sur les profils faits (au milieu de l'interligne, le sol est assez bien colonisé dans les horizons de surface sans, évidemment, de gradient.

En dessous de 2 mètres, la colonisation racinaire est faible mais réelle sur chaque profil, et la profondeur racinaire maximale observée (front racinaire) est de 405 cm, 390 cm, 400 cm, 325 cm pour les profils 1,2, 3, 4, respectivement. Les photos 1 et 2 permettent de se rendre compte de la profondeur atteinte et de visualiser une racine à plus de 4 mètres. Ces racines sont bien vivantes, les tissus extérieurs sont de couleur foncée, ils le deviennent très rapidement au bout de quelques semaines sur la canne, même pour les racines superficielles. En revanche, des observations sur les racines situées au niveau du front racinaire montrent que les parties

internes de la racine sont blanches turgescentes et souples, indicateurs du fait que les racines sont vivantes.

Profils de longueurs racinaires (LVR) en fonction de la profondeur

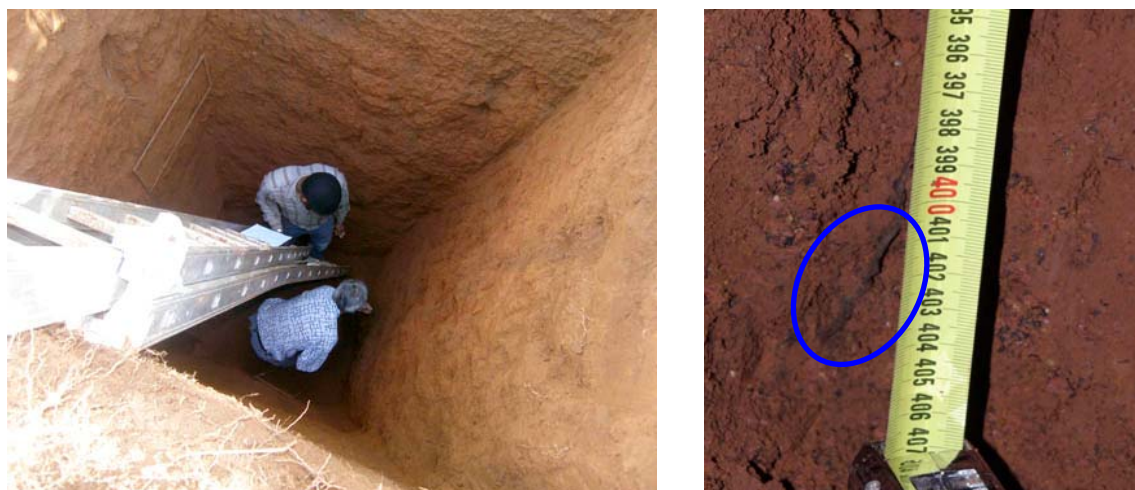
En faisant la moyenne des LVR dans chacune des mailles des 4 profils, on obtient une carte de distribution racinaire « virtuelle » (Fig. 2A) qui permet de mieux voir le degré moyen de colonisation du profil et les gradients verticaux. Les profils de LVR peuvent se faire sous une forme plus classique, à partir des valeurs moyennes par tranche de sol de 20 cm, soit profil par profil (Fig. 3A), soit en faisant la moyenne de 4 profils (Fig. 3B). La densité de colonisation décroît, classiquement, entre la surface et environ 2 mètres pour atteindre à cette profondeur une valeur de 0.01 cm par cm³ (Fig. 3C), soit 10 mètres de racines par mètre carré de sol sur une tranche de 10 cm. Ceci est faible, mais non négligeable. Ce niveau de densité racinaire se maintient ensuite plus ou moins entre 2 et 4 mètres, avec une forte variabilité.

Distances entre racines (EMR)

A partir de ces valeurs de LVR, il est possible d'inférer des valeurs de distances moyennes entre les racines (EMR). Comme pour les LVR, les résultats peuvent être visualisés : (i) sous forme d'une carte (Fig. 2B) qui montre les gradients verticaux et horizontaux, (ii) sous forme de profil en fonction de la profondeur (Fig. 4). Le profil obtenu montre que, entre la surface et environ 2 mètres, la distance moyenne entre les racines augmente plus ou moins linéairement avec la profondeur passant de 1 cm entre racines à 10 cm. En dessous de 2 mètres de profondeur, les résultats sont nettement plus fluctuants. En dessous de 3 mètres, les valeurs d'EMR par couche de 40 cm fluctuent de 10 à 50 cm. Malgré cette hétérogénéité en profondeur, un ajustement à une fonction logarithmique a été obtenu, avec un R² de 0.93 pour 11 points (Fig. 4). Cette fonction empirique ne peut toutefois être utilisée que dans son domaine de validité entre des profondeurs de 20 cm et de 4 mètres.

Longueur totale du système racinaire par unité de surface de sol (m²) et répartition en fonction de la profondeur.

L'estimation des densités de longueur racinaire par unité de volume de sol (LVR) conduit au calcul de la longueur totale par unité de surface de culture. En moyenne, pour les 4 profils étudiés, on a obtenu 4500 m de racines par m² de culture. La répartition de cette longueur totale est, bien sûr, très liée à la profondeur de sol (Fig.5). Environ 80 % de la LVR est située dans les 60 premiers cm de sol. C'est donc, logiquement, cette partie du système racinaire qui doit assurer l'essentiel de l'alimentation minérale et aussi hydrique lorsque les conditions climatiques sont favorables. Toutefois, le faible pourcentage des racines situé en dessous de 2 mètres (2%) peut contribuer en cas de sécheresse à l'alimentation en eau et donc à la stabilisation de la croissance et de la production. Les distances entre racines sont élevées (Fig. 4), mais si l'on considère que les racines peuvent absorber de l'eau jusqu'à une distance de 5 à 10 cm, cette capacité peut être suffisante pour assurer un régime de survie, à condition, bien sûr, que ces couches profondes soient bien pourvues en eau, ce qui est généralement le cas à la Réunion.



Photos : 1 Vue générale du profil ; 2 : Détail de la présence de racines à plus de 4 mètres.

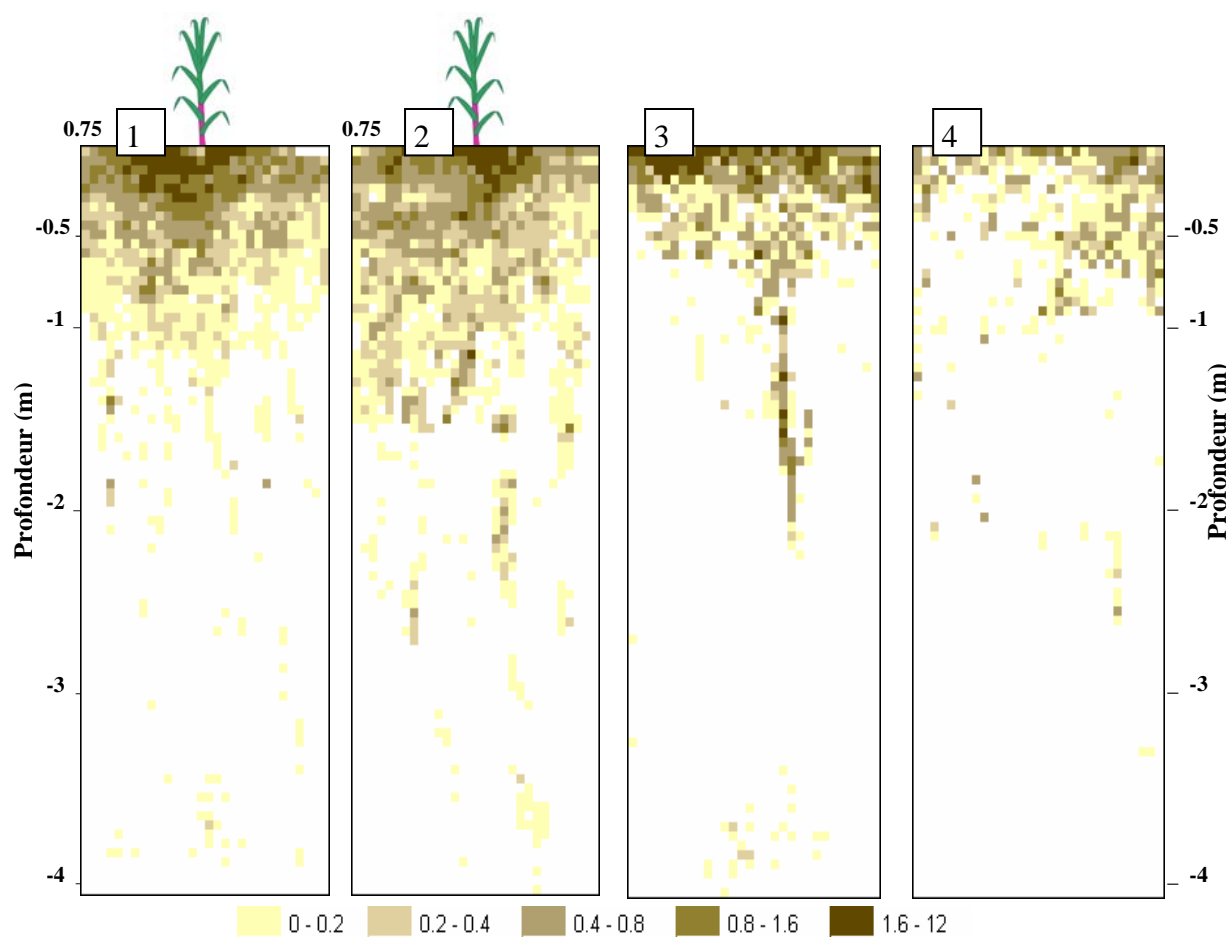


Figure 1 : Profil de Longueur Volumique Racinaire en cm/cm^3 (LVR) des quatre faces du profil. Les faces 1 et 2 sont perpendiculaires à la ligne de culture ; les faces 3 et 4 sont parallèles à la ligne de canne, à environ la moitié de l'interligne (60 à 70 cm de la ligne)

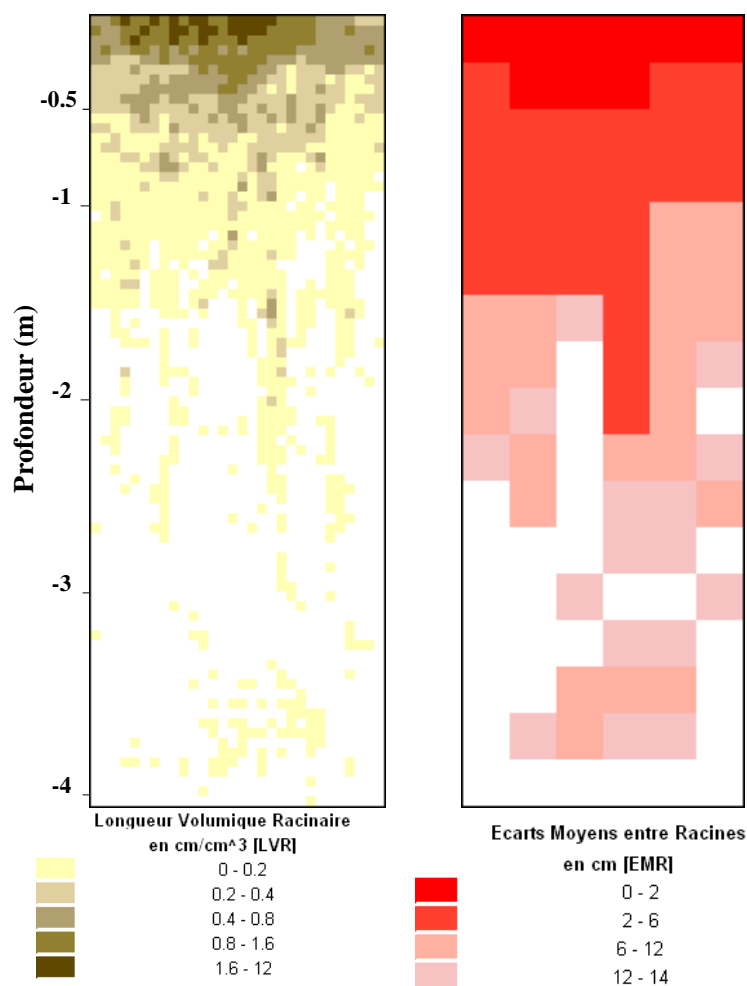


Figure 2 : Profil moyen de la longueur volumique racinaire LVR (A) et de l'écart moyen entre racines EMR (B) des 4 faces de la fosse.

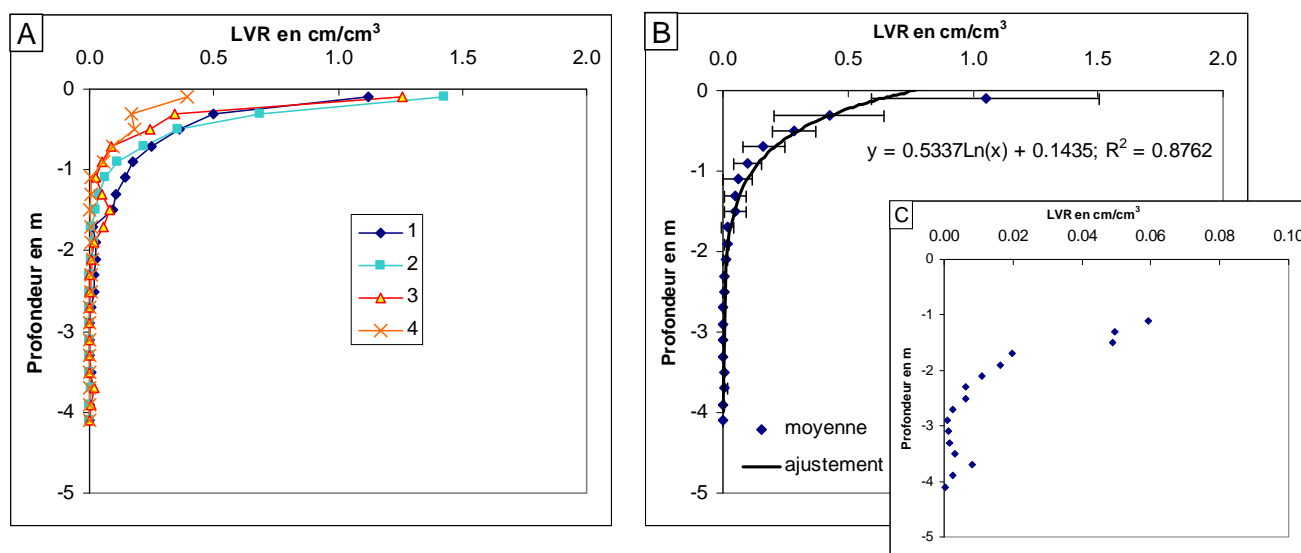


Figure 3 : Densités de longueur moyenne (LRV) par tranche de 20 cm de sol. (A): valeurs pour chacun des profils (1 et 2 perpendiculaires à la ligne, 3 et 4 parallèles à la ligne, au milieu de l'interligne), (B) moyenne des 4 profils, (C) : mêmes valeurs que celles de B, mais uniquement en dessous de 1 mètre de profondeur

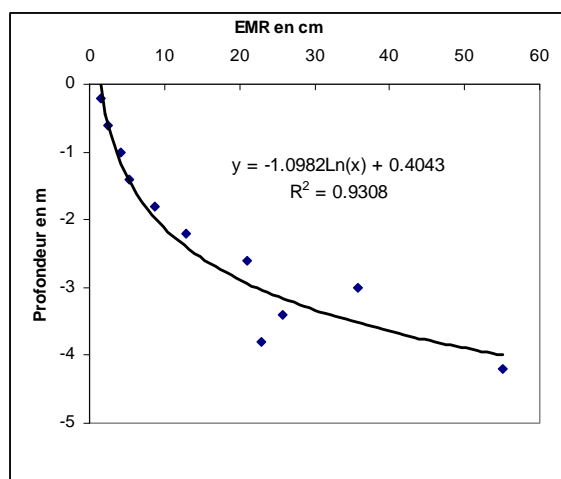


Figure 4 : Ecart moyen entre les racines (EMR, cm) par tranches de 40 cm, calculés à partir des densités moyennes de longueur racinaire.

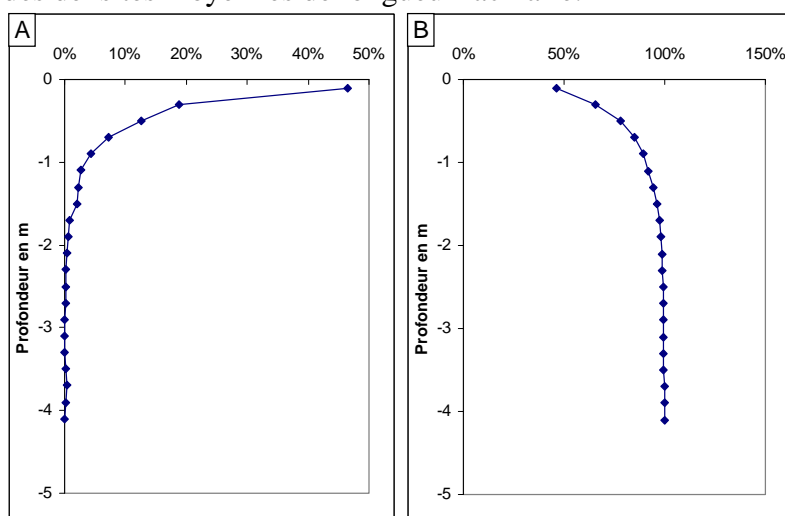


Figure 5: Répartition, en fonction de la profondeur, de la longueur totale du système racinaire (4500 m/m²), par couches de 20 cm. Valeurs exprimées en 100% de la longueur totale (A) par couche, (B) pourcentage cumulé.

Discussion conclusion

Représentativité et limite des résultats

Ces résultats ont été obtenus sur un seul site et, comme indiqué en introduction, ils ne peuvent pas être extrapolés hâtivement à d'autres milieux et à d'autres variétés très différentes de canne à sucre. Toutefois, l'étude a été menée dans des conditions représentatives de la culture de la canne en repousse à la Réunion du point de vue de: (i) la variété (la plus cultivée du département), (ii) l'environnement climatique, (iii) des pratiques culturales. Le seul caractère atypique des conditions expérimentales est la grande profondeur du sol. Les résultats obtenus avec une profondeur maximale des racines à 4 m correspondent donc à une sorte de potentiel local, sans barrière physique majeure à la croissance des racines en profondeur. S'il y a, comme souvent, une dalle basaltique plus ou moins continue à moins de 4 mètres, le système racinaire sera limité en profondeur par cette barrière. Toutefois, des observations faites dans des milieux à proportion importante d'éléments grossiers aussi bien en Afrique (Chopart et Marion, 1994) qu'à la Réunion (Maillot, 2005) montrent que ces éléments grossiers (pouvant atteindre 80% du volume de sol) ne sont pas un obstacle infranchissable aux racines.

primaires, à géotropisme prononcé. Ce n'est donc pas parce qu'une tarière ou une pelle ne peut plus pénétrer dans le sol que les racines ne peuvent pas le faire.

La principale limite des résultats présentés est qu'ils concernent une canne en repousse. Il n'est pas sûr qu'une canne vierge de 8 mois ait une profondeur aussi élevée, car il est possible que le front racinaire progresse entre la première et la seconde année. Ainsi, en Côte d'Ivoire, dans un sol à contraintes plus fortes que celles de l'étude, le front racinaire de la canne a progressé d'environ 1 cm/jour pendant les 150 jours de l'étude (Chopart et Marion, 1994). Si on extrapolait à la croissance de la canne vierge de 8 mois (ce qui n'est pas possible), on aurait une profondeur d'environ 2.5 mètres, inférieure à celle observée à la Réunion sur une canne de repousse. Il serait donc intéressant, maintenant, de mener la même étude sur la profondeur maximale du système racinaire avec une culture en première année de plantation, de façon à avoir des informations sur le front racinaire à la fois en canne plantée et en repousse.

Intérêts scientifique et pratique des résultats

Ces résultats ont une grande importance pour l'agronomie et l'agro-physiologie de la canne. Ils sont certes partiels, mais effectués dans des conditions représentatives de la culture locale. La grande profondeur observée du système racinaire incite à revisiter les valeurs de réserves en eau utile du sol (RU), basées, jusqu'à présent sur une profondeur de sol utile de 0.9 à 1.1 m (Combres et al. 1999) ou, plus récemment sur 180 cm (Chopart et al. 2007). Le concept (empirique) de RU, ne prend pas ou peu en compte jusqu'à présent le système racinaire, hormis, parfois, la profondeur racinaire estimée. Une approche plus bio-physique de la réserve en eau utile du sol (RU), faisant appel au degré d'exploration du profil par les racines (Chopart 1999) paraît donc souhaitable, particulièrement pour la canne à sucre dont la profondeur racinaire est grande mais avec en profondeur peu de racines.

Ceci a une grande importance pour l'utilisation d'outils de modélisation de la croissance comme Mosaic (Martiné, 2003) ou d'aide à la décision en irrigation comme OSIRI-Run (Chopart et al. 2007) et FIVE-CoRe (Chopart et al., 2007) qui font, eux aussi, appel au concept de RU.

La connaissance du front racinaire de la canne à sucre est aussi primordiale dans le domaine des bilans minéraux, notamment pour l'étude du devenir des engrais et des effluents appliqués sur le sol. Elle détermine en effet la limite dans le sol entre la zone où les nutriments sont des fertilisants et celle où ils deviennent des polluants potentiels de la nappe.

Bibliographie

Bardeur J., 2007. Caractérisation du profil racinaire de la canne à sucre en vue d'une optimisation de l'irrigation. Rapport de stage BTSA gestion eau. LEGTA St-Paul et Cirad-Réunion, 39 p.

Bernard O., 2004. Optimisation de l'irrigation par une meilleure estimation de la réserve en eau du sol. Rapport de stage BTSA gestion eau. LEGTA St-Paul et Cirad-Réunion, 44 p.

Blackburn, F., 1984. Sugar cane. Longmans, New York, USA (ISBN: 0-582-46028-X).

Chopart J.L., 1989. Scruter les racines à travers des grilles. Une méthode fort utile. Article dans "Info R3S" lettre du réseau CORAF R3S: n° 2, p 5.

Chopart J.L., 1996. Comparison of several methods of studying the maize deep root system under field conditions. Poster 5ème Symp. Int de la Soc. Int. de recherches sur les racines. Clemson Univ. Caroline du sud (USA). Conf. prog. and abstracts: 14-18 07 96. p.138.

Chopart J.L., 1999. Relations entre état physique du sol, systèmes racinaires et fonctionnement hydrique du peuplement végétal : outils d'analyse in situ et exemples d'études en milieu tropical à risque climatique élevé. Thèse Université Grenoble 1, soutenue le 25 oct. 1999. T.I 115 p., T.II 335 p.

Chopart J.L., 2002. Comment évaluer in situ les racines des cultures ? Guide pratique de différentes méthodes d'études racinaires. In Mémento de l'agronome, 2002. Ouvrage 1 691 p. (cédérom principal), CIRAD, GRET, Ministères des Affaires étrangères, France. Cédérom principal de CIRAD, GRET

Chopart J.L. 2004. Les systèmes racinaires des cultures tropicales : rôle, méthodes d'étude in situ, développement, fonctionnement. Doc. CIRAD Réunion, 7, ch. de l'Irat, St Pierre, La Réunion, 42 p.

Chopart J.L. et Marion D., 1994. Caractérisation au champ de l'enracinement de la canne à sucre. Application à l'élaboration d'une méthode d'évaluation de la biomasse racinaire. Rapp. ATP Cirad 14/92. Note tech. Idessa: n°7/94 RD. 28 p.

Chopart J.L., Mézino M., Aure F., Le Mézo L., Mété M., Vauclin M., 2007 (a). OSIRI: A simple decision-making tool for monitoring irrigation of small farms in heterogeneous environments. *Agricultural Water Management*. vol.87, n°2, p.128-138.

Chopart J.L., Aure F., Le Mézo L., Mézino M., Antoir J., Vauclin M., 2007 (b). Field tests of OSIRI, a decision making tool for irrigation of sugarcane farms in Réunion. In: "Proceedings of fourth USCID Int. Conf. on Irrigation and Drainage: The role of Irrigation and Drainage in a Sustainable Future", USCID Edit. Sacramento, USA, 2-5 oct. 2007, pp. 423, 435.

Chopart J.L., Mézino M., Le Mézo L., Fusillier J.L., 2007 (c). FIVE-CoRe: A simple model for farm irrigation volume estimates according to constraints and requirements. Application to sugar cane in Reunion (France). In : "Proceedings ISSCT Congress, Durban, South Africa 29-07, 02-08 2007, vol. 26, XXXVI pp. 98-99 and poster paper in ISSCT Congress proceedings CD, pp. 490, 493.

Chopart J.L., Le Mézo L., Mézino M. 2008 RACINE2 Logiciel de gestion de données racinaires obtenues à partir de comptages sur profils de sol. Notice d'utilisation. Note scientifique Cirad URSCA 23 p.

Combres J.C., Le Mézo L., Mété M., Bouron B., 1999. Réserve utile et mesures d'humidité. Difficulté de calage des modèles de bilan hydrique. *Agric. et Développement* n° 24, 39-46

Evans, H., 1936. The root System of sugar-cane II.: Some typical root systems. *Empire J. Exp. Agric.* 4, 208-221.

Glover, J. 1968. The behavior of the root-system of sugarcane at and after harvest. *Proc. S. Af. Sugar Technol. Assoc.*, 42, 133-135.

- Hussenet, J. P. 1996. Contribution à la modélisation de l'évaporation maximale de la canne à sucre (stade culture couvrante). Mémoire Ina-PG, Univ Paris 6, France 50 p
- Martiné, J.F., 2003. Modélisation de la production potentielle de la canne à sucre en zone tropicale, sous conditions thermiques et hydriques contrastées. Applications du modèle. 2003. 130 p. Thèse INA Paris-Grignon, Paris.
- Maillot L., 2005. Méthode biophysique pour l'estimation de la réserve en eau utile des sols cannières de la Réunion pour le pilotage de l'irrigation. Rapport de stage BTSA gestion et maîtrise de l'eau. juin 2005, doc. LEGTA-CIRAD Réunion, 49p.
- Monteith, N.H., Banath, C.L., 1965. The effect of soil strength on sugarcane root growth. *Tropic. Agric. (Trinidad)* 42, 293-296.
- Newman J. 1966. A method of estimating the total length of root in a sample. *J. App. Ecol.* : 3 139-145.
- Smith, D.M., Inman-Bamber, N.G., Thorburn, P.J., 2005. Growth and function of the sugarcane root system. *Field Crops Research* 92, 169-183.
- van Dillewijn, C., 1952. Botany of sugarcane. Veenman & Zonen, Wageningen, Netherland.